

Интегрирование (1) по высоте слоя в пределах от 0 до h позволяет определить среднюю концентрацию кислорода:

$$\bar{c} = \frac{c_0}{h} \cdot \int_0^h \left[\frac{e^{-\frac{x}{\zeta_0}}}{1 + e^{-\frac{x}{\zeta_0}}} + \frac{e^{\frac{x}{\zeta_0}}}{1 + e^{\frac{x}{\zeta_0}}} \right] dx = \frac{c_0 \cdot \zeta_0}{h} \cdot \left[\frac{1 - e^{-\frac{x}{\zeta_0}}}{1 + e^{-\frac{x}{\zeta_0}}} + \frac{e^{\frac{x}{\zeta_0}} - 1}{1 + e^{\frac{x}{\zeta_0}}} \right].$$

По данному выражению рассчитано среднее значение действующей концентрации кислорода в зависимости от толщины слоя реагирующего вещества (рис. 2б и 2г). Как видно из расчетов, в слое высотой более 3 мм средняя действующая концентрация кислорода падает вдвое, что соответствует экспериментальным данным (рис. 2).

Список использованных источников

1. Мунц, В. А. Определение кинетических характеристик окисления сульфида цинка / В. А. Мунц, С. А. Ивакина // Международный союз ученых «Наука. Технологии. Производство». – 2015. – № 3 (7). Ч. 2. – С. 34–37.
2. Бабий, В. И. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела / В. И. Бабий, Ю. Ф. Куваев. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 208 с.
3. Хитрин, Л. Н. Физика горения и взрыва / Л. Н. Хитрин. – М. : Изд-во Московского ун-та, 1957. – 452 с.
4. Канторович, Б. В. Основы теории горения и газификации твердого топлива / Б. В. Канторович. – М. : Издательство АН СССР, 1958. – 598 с.

УДК 536.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛА, ОТВОДИМОГО ПРИ ОТЛИВКЕ МЕДНЫХ АНОДОВ

USING OF HEAT IN MOLDING COPPER ANODES

Иванов Н. С., Муравьев А. В.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,

a_mur@el.ru

Аннотация: В работе рассмотрена модель теплообмена изложницы для отливки медных анодов с одновременным отводом тепла, выделяющегося при застывании отливки. Проанализированы профили температур в изложнице, выполненных из различных материалов. Показано, что использование медных изложниц обеспечивает наилучшую утилизацию тепла, а охлаждение по типу тепловой трубы позволяет экономить до 20 % энергии.

Abstract: The paper considers a model of heat transfer of the mold for casting copper anodes with simultaneous removal of heat released during the solidification of the casting. Analyzed the profiles of the temperatures in the mold, made of different materials. It is shown that the use of copper molds provides the best heat recovery, and cooling-type heat pipe can save up to 20 % energy.

Ключевые слова: *энергосбережение; теплообмен; фазовый переход; металлургия.*

Key words: *energy saving; heat transfer; phase transition; metallurgy.*

Получение анодов при разливке меди в вертикальные изложницы, охлаждаемые по принципу тепловой трубы, имеет следующие преимущества по сравнению с существующими методами:

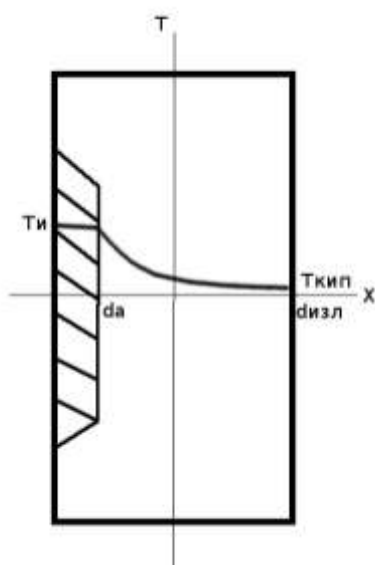
- увеличение сроков службы изложниц;
- сокращение их количества за счет увеличения производительности процесса;
- направленность процесса кристаллизации анода, что приводит к улучшению его эксплуатационных качеств в процессе электролиза.

Для исследования теплообмена в системе анод-изложница разработана математическая модель, учитывающая выделение тепла в

процессе фазового перехода из жидкого состояния в твердое и при остывания анода в изложнице в двух фазах: жидкой и твердой.

Расчеты, проведенные по этой модели, показывают, что средняя плотность потока тепла составляет величину порядка 10^5 Вт/м², а анод из-за его относительно малой толщины прогреет практически равномерно. Из этого следует, что процессы теплообмена определяются в основном распределением температуры в изложнице.

Задача решалась в одномерном приближении, распределение температур рассчитывалось только в центральном поперечном сечении изложницы (рисунок).



Распределение температур в поперечном сечении изложницы

Анализ результатов расчета показывает, что температура изложницы в начальный момент резко растет. Причем этот рост тем сильнее, чем меньше температура изложницы в момент начала заливки. Из этого следует, что использование водяного охлаждения будет приводит к большим внутренним напряжениям в изложнице и, как следствие, в риску ее разрушения.

В то же время из расчета величины отводимого тепла следует, что воздушное охлаждение малоэффективно из-за маленького коэффициента теплоотдачи. Кроме того малоэффективный теплообмен приводит к увеличению времени цикла отливки в три-четыре раза.

В связи с этим наиболее оптимальным представляется использование охлаждения по типу тепловой трубы, устраняющее оба этих недостатка: начальная температура изложницы, равная температуры кипения воды $T_{\text{кип}} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, достаточно высока, чтобы избежать чрезмерных напряжений в изложнице, а коэффициент теплоотдачи при этом на порядок выше, чем при других способах охлаждения.

Из расчетов также следует, что использование медных изложниц является более целесообразным по сравнению со стальными, поскольку в силу относительно малой теплопроводности стали увеличивается время застывания анода, что приводит к увеличению времени цикла и снижению производительности.

УДК 536.423.4

КОНДЕНСАЦИЯ ПАРА ИЗ ПОТОКА ПРИ ТУМАНООБРАЗОВАНИИ

VAPOR CONDENSATION FROM A STREAM WITH MISTING

Иванов Н. С., Муравьев А. В.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,

a_mur@el.ru

Ivanov N. S., Muravyov A. V.

Ural Federal University, Ekaterinburg

Аннотация: В работе рассмотрена модель теплообмена в потоке парогазовой смеси при наличии туманообразования. Определено влияние объемного теплообмена на изменение потока тепла от смеси к охлаждающей поверхности. Показано, что при высокой концентрации конденсирующегося вещества процесс теплообмена становится менее интенсивным за счет перераспределения тепловых